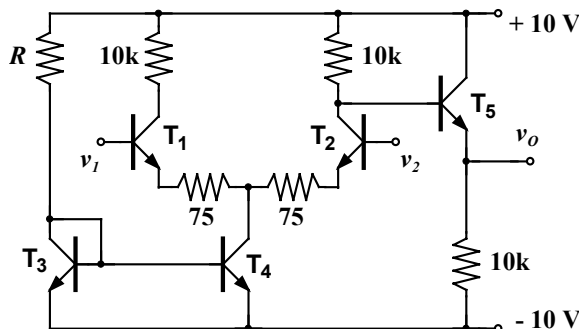




1. Considere o seguinte amplificador, onde os transístores apresentam as seguintes características: $\beta = 100$, $V_{BE,ON} = 0,7 \text{ V}$ e $V_A = 100 \text{ V}$. (Recorde: $g_m = I_C / V_T$, $r_\pi = \beta / g_m$ e $r_o = V_A / I_C$.)

- a) Desprezando as correntes de base e com as duas entradas ligadas à massa, determine o valor de R por forma que a corrente no transístor T_2 seja de 1 mA . Calcule ainda as correntes nos restantes transístores.
- b) Determine os ganhos A_d , A_c e o $CMRR$.
- c) Identifique a configuração do andar de saída e justifique a sua utilização com base no seu A_v , R_i e R_o .



2. Considere para os transístores JFET das figs. 3 e 4, $I_{DSS} = 2 \text{ mA}$, $|V_P| = 2 \text{ V}$ e $V_A = 50 \text{ V}$, excepto para T_3 que tem $I_{DSS} = 16 \text{ mA}$ e os mesmos valores de $|V_P|$ e V_A . (Recorde: $I_D = I_{DSS} (1 - V_{GS} / V_P)^2$)

Considere, inicialmente, o amplificador da fig. 3.

- a) Determine, em corrente contínua, as correntes de todos os transístores do circuito, considerando ambas as entradas à massa. (Para os cálculos subsequentes, admita que todos os transístores têm $g_m = 2 \text{ mA/V}$, excepto T_3 que tem $g_{m3} = 8 \text{ mA/V}$.)
- b) Explique os papéis de T_3 e T_4 , e determine o ganho $A_V = v_o / v_d$, considerando, separadamente, v_o / v' e v' / v_d
- c) Determine a resistência R da configuração de T_3 (fig.4) e calcule ainda o ganho em modo comum do amplificador.

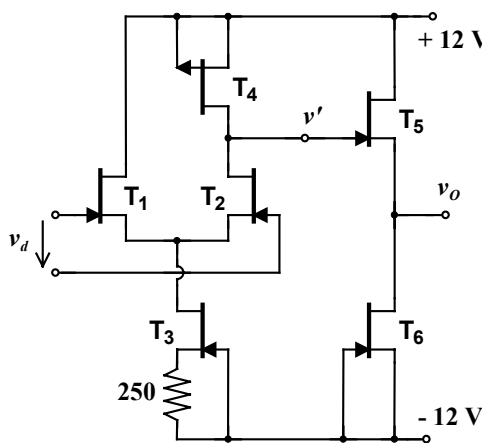


fig. 3

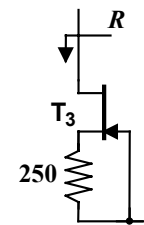
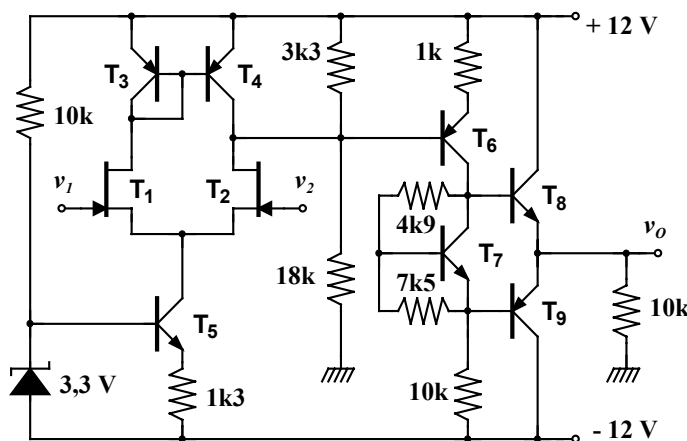


fig. 4

3. Considere para o seguinte circuito $\beta = 250$, $I_{DSS} = 2,5 \text{ mA}$ e $V_P = -4 \text{ V}$. (Recorde que, para os FETs, $I_D = I_{DSS} (1 - V_{GS} / V_P)^2$ e, para os BJTs, $I_C \cong I_S e^{V_{BE} / V_T}$.)

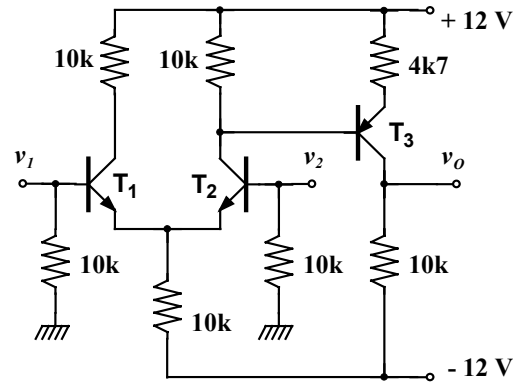
- a) Desprezando as correntes de base e com as duas entradas ligadas à massa, determine o valor das correntes em todos os transístores. Em particular, sabendo que T_7 com as resistências de $4,9 \text{ k}\Omega$ e $7,5 \text{ k}\Omega$ asseguram cerca de $1,15 \text{ V}$ aos seus terminais, e T_8 e T_9 têm $I_S = 10^{-14} \text{ A}$, prove que a corrente em repouso destes é, aproximadamente, $100 \mu\text{A}$.
- b) Calcule o ganho diferencial $v_o / (v_1 - v_2)$.
- c) Explique a função do circuito constituído pelo transístor T_7 e resistências de $4,9 \text{ k}\Omega$ e $7,5 \text{ k}\Omega$, e calcule a resistência vista entre o seu colector e emissor.



Soluções: a) $I_5 = 2 \text{ mA}$, $I_1 = I_2 = I_3 = I_4 = 1 \text{ mA}$, $I_6 = 1,16 \text{ mA}$, $I_7 = 1,07 \text{ mA}$, $I_8 = I_9 = 0,097 \text{ mA}$. b) $A_d = -21,3 \text{ V/V}$. c) 58Ω

4. Considere o circuito representado, onde todos os transistores apresentam $\beta_o = 100$.

- Calcule as polarizações (supondo os dois transistores absolutamente iguais), e calcule $A_d = v_o / v_d$, $A_{cm} = v_o / v_{cm}$ ($v_d = v_1 - v_2$ e $v_{cm} = (v_1 + v_2) / 2$) e $CMRR$.
- Calcule R_{id} , R_{icm} e R_o ; justifique.
- Calcule V_{OS} e justifique os cálculos.



Soluções: a) $V_{B1} = V_{B2} \approx 0$, $V_{E1} = V_{E2} = -0,7$ V, $I_1 = I_2 = 0,57$ mA, $I_3 = 1,05$ mA, $V_{C1} = V_{C2} = 6,35$ V, $V_{E3} = 7,05$ V, $V_{C3} = V_O = -1,47$ V, $A_d = -234$ V/V, $A_c = 1,04$ V/V, $CMRR = 226 \rightarrow 47$ dB.
 b) $R_{id} = 6,13$ k Ω , $R_{icm} \approx 5$ k Ω , $R_o = 10$ k Ω .
 c) $V_{OS} = 6,27$ mV.

5. Considere o circuito amplificador da fig. 3, onde os transistores apresentam as seguintes características:

T_1 e T_2 : $K = 400 \mu A/V^2$, $V_t = 2$ V.

T_3 e T_4 : $\beta_o = 100$ e $V_A = 100$ V.

- Considere o espelho de Widlar utilizado e mostre que $I \approx 200 \mu A$. Admitindo as entradas ligadas à massa, calcule ainda o valor das tensões contínuas nas fontes e drenos de T_1 e T_2 .
- Determine o ganho A_d e o $CMRR$.
- Considere agora a fig. 4. Diga qual a função do multiplicador de V_{BE} constituído por T_5 , R_1 e R_2 . Determine o valor de R_1 para que a tensão entre as bases de T_6 e T_7 seja 1,2 V. Calcule ainda a resistência dinâmica vista entre os terminais do multiplicador de V_{BE} .

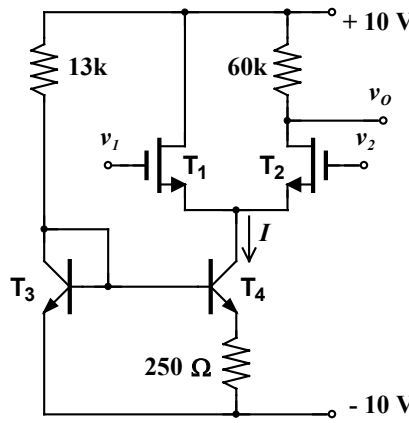


fig. 3

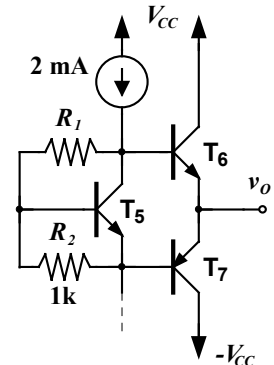


fig. 4

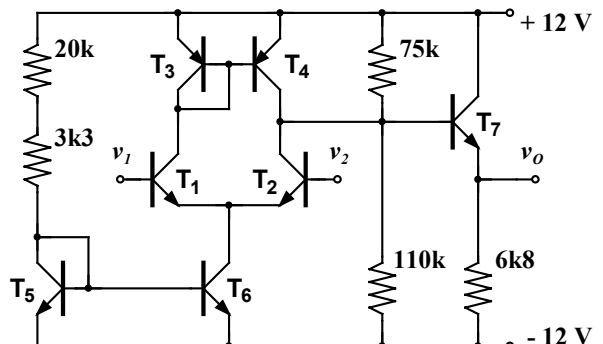
(**Recorde:** $I_C = I_S \exp(V_{BE}/V_T)$; $g_m = I_C/V_T$; $r_\pi = \beta/g_m$; $r_e \approx 1/g_m$; $r_o = V_A/I_C$; $I_D = K(V_{GS} - V_t)^2$; $g_m = 2 \sqrt{QI_D}$)

Soluções: a) $I_3 = 1,48$ mA, $I_1 = I_2 = 0,1$ mA, $V_{GS1} = V_{GS2} = 2,5$ V, $V_{G1} = V_{G2} = 0$, $V_{S1} = V_{S2} = -2,5$ V, $V_{D1} = 10$ V, $V_{D2} = 4$ V.

b) $A_d = 12$ V/V, $R_{o,d} \approx 1,5$ M Ω , $A_c = 20$ mV/V, $CMRR = 600 \rightarrow 56$ dB

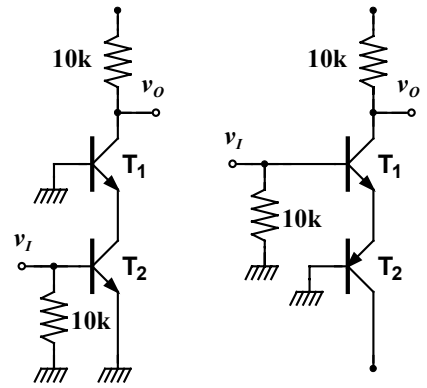
6. Considere o seguinte circuito, onde para todos os transistores: $\beta_o = 200$ e $V_A = 100$ V. (**Recorde:** $g_m = I_C / V_T$, $r_\pi = \beta_o / g_m$, $r_e \approx 1 / g_m$ e $r_o = V_A / I_C$.)

- Desprezando as correntes de base e com as duas entradas ligadas à massa, determine o valor das correntes e tensões contínuas em todos os transistores.
- Calcule o ganho diferencial $v_o / (v_1 - v_2)$.
- Calcule o desvio de tensão à entrada V_{OS} e explique por que é que nesta montagem, em condições de transistores idênticos e correntes de base desprezáveis, o $CMRR$ é praticamente infinito.



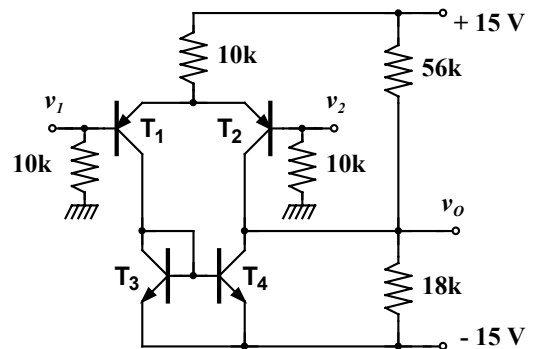
7. Considere os dois circuitos da figura, representados para sinal, mas supondo que haviam sido ambos polarizados por forma a todas as correntes de coletor serem de 1 mA. Considere ainda que, para todos os transístores: $\beta_o = 100$, $C_\pi = 100$ pF, $C_\mu = 10$ pF e $V_A = \infty$.

- Compare as duas configurações, determinando os valores adequados, em cada caso, quanto a ganho de tensão às MF, R_i e R_o .
- Determine o comportamento do circuito da esquerda, às AF.



8. O circuito da figura à direita representa o andar de entrada de um AmpOp. Considere $\beta_o = 100$ e $V_A = \infty$. Admitindo o espelho de corrente ideal, calcule e justifique, às MF:

- A_d
- $CMRR$



9. Considere o seguinte circuito amplificador, onde os transístores apresentam as seguintes características:

$$\beta_o = 100 \text{ e } |V_{BEon}| = 0,7 \text{ V}$$

Recorde: $g_m = I_C / V_T$; $r_\pi = \beta / g_m$; $r_e \approx 1 / g_m$; $r_o = V_A / I_C$

- Desprezando as correntes de base e com as entradas do amplificador ligadas à massa, determine o valor da resistência R por forma que a corrente em regime d.c. no transístor T_4 seja de 2 mA. Determine o valor das restantes correntes no circuito.
- Determine o ganho diferencial A_d e o desvio de tensão na entrada V_{OS} .
- Considerando que, para o T_4 , é $V_A = 100$ V e infinito para os restantes, determine a resistência para sinais R_o vista do coletor de T_4 e o $CMRR$ do amplificador. (**Sugestão:** Considere que o ponto P é aproximadamente uma massa para sinais.)

